

550,616

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. Oktober 2004 (07.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/085688 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: C22C  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/003183  
(22) Internationales Anmeldedatum:  
25. März 2004 (25.03.2004)  
(25) Einreichungssprache: Deutsch  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität:  
103 13 321.6 25. März 2003 (25.03.2003) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): ALULIGHT INTERNATIONAL GMBH [AT/AT];  
Lach 22, A-5282 Ranshofen (AT).  
(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RAJNER, Walter

[DE/DE]; Hornerstr. 12b, 83329 Tettenhausen (DE).  
SIMANCIK, Frantisek [SK/SK]; Pechianska 13,  
Bratislava (SK).

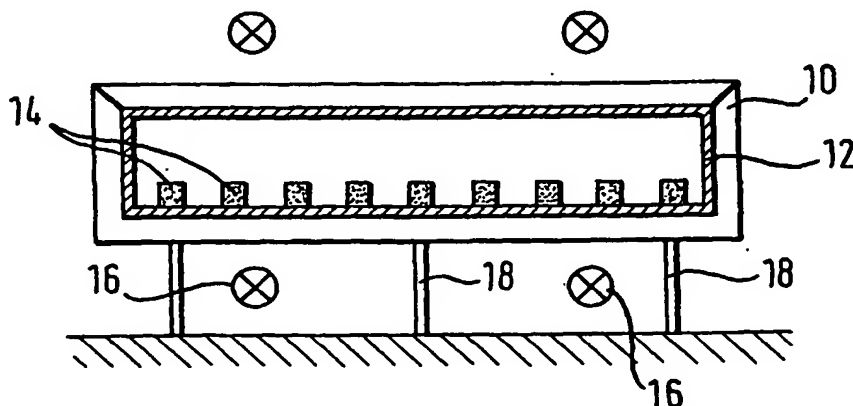
(74) Anwalt: NEIDL-STIPPLER, Cornelia, E.; Rauchstrasse  
2, 81679 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING DIMENSIONALLY ACCURATE FOAM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG VON MASSGENAUEM SCHAUM



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing dimensionally accurate metal foam from a foamable, powder metallurgically produced metal semifinished product having a melting point  $>200^{\circ}\text{C}$  involving: the introduction of material, which is capable of foaming when  $T > 200^{\circ}\text{C}$ , into a mold, which is thermally stable up to the melting point of the foamable material and which has a coefficient of expansion of less than  $3\text{ K}^{-1}$ , preferably  $<1\text{ K}^{-1}$ ; the controlled heating of the foamable material inside the mold while radiators

foam said material, whereby these radiators are controlled with regard to energy output and are used on or through the mold, and; the removal of the foam formed thereby from the mold. The invention also relates to a device for producing dimensionally accurate thermally foamed metal foam parts that comprises: a thin-walled mold, which is stable at the melting temperature of the metal foam and which has a coefficient of expansion of  $<3\text{ K}^{-1}$ ; a controllable irradiating device, and; a controller that controls the irradiating device based on the measurement given by a radiation measuring device.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von massgenauem Metallschaum aus schaumfähigem, pulvermetallurgisch hergestelltem Metallhalbzeug mit einem Schmelzpunkt  $>200^{\circ}\text{C}$  mit: Einbringen von bei  $T > 200^{\circ}\text{C}$  schaumfähigem Material in eine bis zum Schmelzpunkt des schaumfähigen Materials hitzebeständige Form mit einem Ausdehnungskoeffizienten von weniger als  $3\text{ K}^{-1}$ , bevorzugt  $<1\text{ K}^{-1}$ ; gesteuertem Erhitzen des schaumfähigen Materials in der Form unter Aufschäumen durch in der Energieabgabe gesteuerte Strahler, die auf oder durch die Form angewendet werden und Entformen des so aufgeschäumten Schaums sowie eine Vorrichtung zur Herstellung von massgenauen thermisch geschäumten Metallschaumteilen, die: eine dünnwandige, bei der Schmelztemperatur des Metallschaums stabile Kokille mit einem Ausdehnungskoeffizienten von  $<3\text{ K}^{-1}$ , eine steuerbare Bestrahlungseinrichtung und eine Steuerung, die aufgrund der Messung einer Strahlungsmesseinrichtung die Bestrahlungseinrichtung steuert, aufweist.

WO 2004/085688 A2



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von maßgenauem Schaum

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von massgenauem Metallschaum aus schaumfähigem, pulvermetallurgisch hergestelltem Metallhalbzeug mit einem Schmelzpunkt  $>200^{\circ}\text{C}$  sowie Vorrichtungen zu seiner Durchführung.

Die Herstellung von Schaum aus entsprechendem schaumfähigem Material ist für Kunststoffe, Naturstoffe, Gläser und auch metallhaltige Materialien bekannt.

Verfahren zur pulvermetallurgischen Metallschaumherstellung in Formen niedrigen Ausdehnungskoeffizienten sind aus DE 199 54 755 A1 bekannt. Dort wird pulvermetallurgisch AlSi12 Legierung aufgeschäumt, allerdings sind die dort angegebenen Informationen nur für dieses Material geeignet, da stets materialbezogene Größen genannt sind. Dies gilt sowohl für die notwendigerweise 5 - 25 nm dicke Schutzschicht der Quarzglasform durch eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Beschichtung des Quarzglases, als auch für die aufgebrachte Deckschicht, die wegen der Reaktivität des aufschäumenden AlSi12 notwendig ist. Dort wird durch eine recht dickwandige Form mit Schichtdicken  $>5$  mm und einer aufgebrachten Schutzschicht Strahlung bevorzugt im mittleren Infrarot eingekoppelt, wobei die Infrarotstrahler geometrisch so angeordnet werden, dass sich im Pressling Wärmesenken ausbilden. Dieses bekannte Verfahren kann nur mit Presslingen arbeiten, die auf Deckschichten aufgebracht sind und es treten Probleme mit ungleichmässiger Erhitzung der Form auf, wodurch ein ungleichmässiges Schäummuster und nicht massgenaue Schäume resultieren, was insbesondere bei grösseren Schaumteilen zu Instabilitäten des Schaums und damit Bruchstellen, Schwächungsstellen etc. führt..

Bisher ist es äußerst schwierig, derartige Metallschaumteile maßgenau in zufriedenstellender Qualität herzustellen. Es ist problematisch, eine gleichmässige Porenverteilung in größeren Bauteilen zu erzielen, bspw. großflächigen, wie Metallschaumplatten mit  $0,5\text{ m}^2$  und mehr Bodenfläche. Solche nach den bekannten Aufschäumverfahren hergestellte Metallschaumteile haben häufig Bereiche, in denen die Poren kollabiert sind und demzufolge größere, die Festigkeit des Bauteils

schwächende Hohlräume. Bei Teilen ungleichmäßiger Dicke oder solchen mit Bereichen höherer Dichte, die durch Einlegen von mehr Halbzeug an vorherbestimmten Stellen entstehen, treten Fehler besonders häufig auf. Dies liegt insbesondere daran, daß herkömmliche Formen aus Metall hohe lineare Ausdehnungskoeffizienten und eine hohe Wärmekapazität aufweisen. Die Ausdehnungskoeffizienten führen dazu, daß beim Abkühlen große Maßänderungen stattfinden, welche die Maßgenauigkeit und das Abkühlverhalten des Metallschaums negativ beeinflussen. Bekannte Formen oder Kokillen benötigen viel Energie für ihre Erwärmung, wodurch das Abkühlen langwierig ist und lange Zykluszeiten in der Herstellung verursacht. Das Abkühlen kann auch zu Materialproblemen bei Metallschaum führen, falls Komposite aufgeschäumt werden sollen und ein zu langes Verweilen in einem fluiden Zustand zu unerwünschten Reaktionen oder Auflösungen, wie Entmischungsphänomenen, führt. Ein weiteres Problem ist, daß bei den bekannten Aufschäumvorgängen in Öfen aufgrund einer ungesteuerten Wärmeverteilung in der Kokille das schaumfähige Material ungesteuert schäumt und so keine zufriedenstellende Porenverteilung liefert.

Bei anderen bekannten Verfahren wird Halbzeug in Metall-Kokillen in einem Ofen auf eine Temperatur aufgeheizt, die deutlich über der Schmelztemperatur eines Matrixmetalls des Halbzeugs liegt. Um eine ausreichende Produktivität des Prozesses und vor allem um gute Qualität des Metallschaums zu erzielen, muß das Erwärmen sehr rasch, d.h. innerhalb weniger Minuten erfolgen. Andererseits ist eine sehr gezielte Erwärmung des schaumfähigen Materials notwendig, da sonst einzelne Bereiche des Halbzeugs noch nicht aufschäumen, während andere Bereiche überhitzt sind und die Schaumzellen dort bereits kollabieren. Daher muß die Kokille gesteuert - bspw. mit geringstmöglichen Temperaturdifferenzen bei ebenem Metallschaum gleichmäßiger Dicke - in sehr kurzer Zeit erhitzt werden, was insbesondere bei größeren Form- oder Kokillen und Metallschaumteilen schwierig ist. Ein großes Problem stellen dabei die großen Wärmekapazitäten bekannter Kokillen dar, die sich schwierigst schnell abkühlen lassen und aufgrund des hohen Wärmeleitvermögens von Metall eine örtlich unterschiedliche Beheizung nicht ermöglichen

Das bekannte Verfahren mit Aufschäumen in Metallformen im Ofen war insofern nachteilig, als es schwierig zu steuern war, häufig unterbrochen werden musste und

nicht kontinuierlich gefahren werden konnte. Schließlich waren die Energiekosten hoch.

Es ist demgegenüber Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, das die Herstellung gleichmässig geschäumter Schaumteile - auch solche grösserer Ausmasse - ermöglicht.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 1. Weiterhin wird sie auch durch die erfindungsgemäße Vorrichtung mit dem Merkmalen des Patentanspruches 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Im folgenden werden unter Metallschaum auch solche Körper, die im wesentlichen aus Metallschaum bestehen, aber ungeschäumte Armierungselemente, wie Drähte, Gitter, Bleche oder aber Fäden, Filamente, Whisker, Befestigungselemente wie Schraubbuchsen, Hohlkörper wie unausgeschäumte Rohre enthalten, verstanden. Diese Strukturelemente können während des Schäumens von Metallschaum durch Formschiuß oder aber auch Materialschiuß an- und eingebunden werden; dadurch werden spätere Befestigungsschritte, wie Bohren, Schlitzen oder sonstige mechanische Verbindungsverfahren oder Kleben, Schweissen, Löten oder dergleichen vermieden.

Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf thermisch bei hohen Temperaturen, über 200°C, bevorzugt über 300°C und auch auf über 500 °C über Treibmittel aufgeschäumte Metallschäume aus Metall, Metallkompositen od. dgl.

Die Schäume sind bevorzugt als feste, aber leichte Baumaterialien einsetzbar. Solche Leichtbaumaterialien finden im Bausektor als Verblendelemente, tragende Elemente geringen Gewichts; in der Fahrzeugtechnik, wie Flugzeug- Automobil- und Schiffsbau aber auch als Dämmplatten oder Schutzplatten gegen mechanische oder thermische Einwirkung (feuerhemmende Bauteile) Verwendung.

Dabei wird hier unter „ungleichmäßig“ sowohl die momentane Verteilung der Strahlung in der Form als auch die zeitliche Anwendung der Strahlung verstanden - also

sowohl das Bestrahlen der Form unterschiedlicher Strahlungsintensität als auch das zeitlich unterschiedliche Bestrahlen bestimmter Formbereiche. Dadurch kann in überraschender Weise die Metallschaumentstehung gesteuert und das Auftreten von Gaseinschlüssen vermieden werden.

Unter Metallschaum wird hier ein aufgeschäumtes Produkt verstanden, das definierte Außenmaße aufweist.

Das Verfahren kann sehr vorteilhaft mit schaumfähigen Materialien mit einem Schmelzpunkt über 200°C, bevorzugt über 300°C und auch mit Schmelzpunkten von über 500 °C durchgeführt werden.

Dadurch, daß nun Formen, bspw. Kokillen niedriger linearer Ausdehnungskoeffizienten und niedriger Wärmekapazität sowie gesteuerte Schaumentstehung eingesetzt werden, kann ein äußerst maßgenaues Metallschaumteil erhalten werden. Geeignete Formmaterialien sind keramik- oder glasartige Materialien oder aber auch Kompositmaterialien, wie faserverstärkte Komposite, wie faserverstärkte Keramik, Glas oder Kohlenstoff, die gut wärmedurchlässig sind und die Anforderungen an einen geringen Ausdehnungskoeffizienten bei erhöhter Festigkeit gegenüber Druck und Zug erfüllen. Es ist auch möglich, die Formen schnell abzukühlen, da der geringe Ausdehnungskoeffizient Schäden, die durch größeren Verzug beim Abkühlen bei herkömmlichen Formen auftreten könnten, vermeidet.

Das Verfahren kann bei einer bevorzugten Ausführungsform, die zu einem strang- oder bandartigen Metallschaumprodukt führt, auch kontinuierlich durchgeführt werden. Dabei werden beidseitig offene Formen eingesetzt, wobei kontinuierlich schaumfähiges Material in die Form/Kokille eingeführt wird, die Form/Kokille in einem ausgewählten Bereich gesteuert bestrahlt und das schaumfähige Material so erwärmt und so aufgeschäumt wird; wobei und an der anderen Seite entsprechend der Form - bspw. der Kokillenform, der Metallschaum strangartig geschäumt wieder austritt. Dabei kann auch hier das Verfahren durch Trennmaterial unterstützt werden, falls das aufzuschäumende Material stark an der Form haftet - bspw. durch Mitlaufenlassen von folienartigem Trennmaterial, wie  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder  $\text{ZrO}_2$ -haltigen Folien oder Graphitfolien bei Aluminiumschäumen oder auch durch Belegen des

schaumfähigen Materials mit Trennmaterialfolien oder Beschichten mit einer Hochtemperaturschichte, wie Silikatschichten - geeignete Trennmittel sind dem Fachmann bekannt.

Vorteilhafterweise ist die Form mindestens teilweise diatherman. Unter diatherman wird allgemein Material verstanden, das für Wärmestrahlung durchlässig ist, hier im Bereich von ca 760 - 5000 nm strahlungsdurchlässig. Als Strahlungseinrichtung eignen sich bspw. im Bereich von 760 - 5000 nm kontinuierlich oder aber nur bestimmte Wellenlängen emittierende Strahler, wie Glühstäbe, Nernst-Stäbe, SiC-Stäbe, LEDs, CO<sub>2</sub>-CO-, Dioden-, Nd/Yag-, Halbleiter- oder Farb-Laser. Deren Energieabgabe kann durch Regelung des Versorgungsstroms oder durch Filter schnell problemlos geregelt werden.

Bevorzugt ist die Kokille dünnwandig. Dies ist vorteilhaft, da so ein Verschwinden von Wärmeenergie zum Aufheizen einer Kokille hoher Wärmekapazität vermieden werden kann und ihr Abkühlverhalten schneller ist - was eine Entmischung von Komposit-Schäumen verhindert, höhere Zykluszeiten und eine präzisere Steuerung der auf das aufzuschäumende Material einwirkenden Wärmeenergie ermöglicht.. Sie kann bspw. eine Wanddicke von 1 - 20 mm und besonders bevorzugt eine Dicke von 2 - 10 mm aufweisen. Bei wegen des Wärmemanagements dünnen Form- oder Kokillenwänden kann es sinnvoll sein, diese mechanisch von außen lokal durch Träger oder Stützen abzustützen, um ein Biegen oder Brechen der Form/Kokille bei schweren Metallschäumen oder großen Teilen zu vermeiden und die Maßhaltigkeit zu sichern. Als geeignete Träger können Stützen, gitter- oder wabenartige Konstruktionen, die möglichst wenig Auflagefläche und geringe Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnungskoeffizienten haben und wenig Wärmeenergie übernehmen, eingesetzt werden, um das Erwärmungsprofil nicht zu stören. Dabei ist es besonders vorteilhaft, falls die Stützen steuerbar sind, um Unebenheiten der Kokille oder Wärmeausdehnung der Stützen selbst auszugleichen.

Die Kokille kann mit einem geeigneten Gas - auch unter Überdruck - beschickt werden. Typischerweise wird ein Inertgas unter einem nicht zu hohen Überdruck im Bereich von unter ca 5 bar eingesetzt. Damit kann Aufschäumen von unedlen

Metallen und deren Legierungen bzw. Kompositen mit denselben, wie Zn, Ni, Al, Mg, Ca, Ni, Fe, Sn, erfolgen.

Metallpulvermischungen können aber auch Edelmetall-, Kupfer- Beryllium, Wolfram , Titan, Stähle, Si sowie deren Legierungen und Mischungen, ggf. mit Zusätzen, wie Hartstoffen, Fasern und Treibmitteln für die Herstellung der Metallschäume, wie Hydride oder Carbonate von Metallen - z.B.  $TiH_2$ ,  $ZnH_2$ ,  $MgH_2$ ,  $CaCO_3$  etc., wie sie dem Fachmann auf dem Gebiet der Metallschaumherstellung bekannt sind, durchgeführt werden.. Insbesondere handelt es sich dabei um bei höheren Temperaturen Gase freisetzende Stoffe, bevorzugt solche, die im Schaummetall unter Legierungsbildung nach Abspaltung des Gases aufgenommen werden.

Typische Metallschaummaterialien sind solche, die überwiegend Al, Be, Mg, Si, Cu, Zn, Ti, Sn, Pb, Blei, Messing, Bronze etc. aufweisen. Durch das erfindungsgemäße Verfahren können auch schmelzmetallurgisch nicht herstellbar Legierungen verarbeitet werden. Typisch sind Titanlegierungen, wie TiAl, TiAlNb, bestimmte Magnesium- oder Beryllium-Legierungen, wie dem Fachmann bekannt. Es können auch Composite sowie Gläser, eingesetzt werden. Typische oxidationsanfällige Metallegierungen sind - aber keinesfalls begrenzt auf, solche von Mg, Ca, Al, Zn, Fe, Sn. Aufschäumen unter Normalatmosphäre ist möglich, führt zu dickeren Wänden der Poren, größeren Poren und generell zu niedrigeren erzielbaren Porositäten als im Falle der Schutzatmosphäre. Die wegen der Einsparung teurerer Gase preiswertere Variante der Normalatmosphäre sollte bevorzugt bei nicht besonders oxidationsanfälligen Metallen verwendet werden, wie bei einigen Al-Legierungen. Das schaumfähige Material kann auch schaumfähiger Kunststoff oder schaumfähiges Metallhalbzeug - wie pulvermetallurgisch kaltkompaktierte, warm- oder heisskompaktierte, auch stranggepresste Mischungen von Metallpulver mit Treibmittel, wie Metallhydriden, bspw.  $TiH_2$ ,  $ZrH_2$ ,  $MgH_2$ , Carbonaten, Nitriden, Hydrogencarbonaten, Mischungen von Oxiden mit Kohlenstoff, wie sie dem Fachmann bekannt sind, sein.. Diese Ausgangs-Materialien können auch gemeinsam mit Verstärkungselementen oder Strukturelementen, wie Haken, Schraubhülsen od. dgl. sowie Armierungsteilen - Netzen, Filamenten, Fäden, oder aber auch Deckfolien in die Form oder Kokille eingebracht werden, um eine dekorative oder aber auch schützende Beschichtung des Metallschaumteils zu erhalten oder um Anschlußkomponenten darin zu befestigen. Dabei kann die endgültige räumliche Anordnung dieser Armierungsteile oder Beschichtungen durch bevorzugt verzehrbare Halteelemente in der Form gesichert werden



Besonders bevorzugt ist die Kokille - falls sie geschlossen ist - gasdicht schließbar und weist ein Überdruckventil sowie einen Gasein- und -auslaß auf.

Es kann aber auch sinnvoll sein, falls bspw. eine genaue Formung einer Fläche nicht notwendig oder erwünscht ist, daß die Kokille mindestens einseitig offen ist und in einer einseitig offenen Kokille geschäumt wird. Die so hergestellten Teile haben mindestens eine freigeschäumte, geometrisch interessante Fläche, während die anderen Flächen maßgenau geformt werden.

Es kann vorgesehen sein, daß in der Kokille eine gesteuerte Gasatmosphäre eingestellt und aufrechterhalten werden kann. Die geschlossene Kokille sollte einem Gasdruck zwischen 2 bis 5 bar widerstehen. Vorteilhafterweise kann auch während des Aufschäumens eine Druckänderung durchgeführt werden - wobei dann, falls ein schlagartiges Absenken des Gasdrucks beim schäumenden Material durchgeführt wird, eine Herstellung von Metallschaum mit feinen und gleichmäßigeren Poren erfolgt. Die Atmosphäre in der Kokille während des Aufschäumens kann sowohl hinsichtlich ihrer Zusammensetzung als auch bevorzugt hinsichtlich des in der Kokille beim Aufschäumen herrschenden Drucks eingestellt werden. Als Gas eignet sich - falls Oxidation nur eine untergeordnete Rolle spielt, preiswerte Luft - es kann aber auch mit Inertgas, wie Edelgas oder jedes andere Gas, das mit dem zu schäumenden Material nicht in nennenswertem Maß reagiert - bspw. Stickstoff oder Argon - eingesetzt werden. Falls allerdings eine Gasreaktion mit Metallschaumkomponenten erwünscht ist - bspw. die Bildung von Nitriden bei Metallen - kann auch ein geeignetes reagierendes Gas eingesetzt werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Kokille mindestens teilweise diatherman und der Form - oder Kokilleninhalt kann gezielt lokal durch gesteuerte Strahlung erwärmt und geschäumt werden. Dafür eignet sich bspw. ein entsprechender Laser mit Emissionswellenlängen im Bereich von um 3000 nm oder entsprechende andere thermische Strahler mit einem hohen Anteil an Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen ca 760 - 5000 nm bevorzugt.

In speziellen Fällen kann es sinnvoll sein, das Form- oder Kokillenmaterial mit einem für das aufzuschäumende Material geeigneten Trennmittel zu bedecken - dies

kann entweder durch Beschichten der Form aber auch durch Auflegen von Folienlagen - wie Fasermatten oder Materialfolien, wie Metallfolien - erfolgen. Das Trennmittel kann auch direkt in Folienform auf das schaumfähige Material aufgebracht werden. Das Trennmittel ist nicht immer notwendig, vermeidet aber Reaktionen zwischen Metallschaummaterial und Kokille, stellt eine Strukturoberfläche bei glatter Kokillenoberfläche her und kann bei einer Trennfolie die Relativbewegung des Metallschaums gegenüber der Form ermöglichen.

Es ist besonders bevorzugt, daß die Wärmestrahlung von steuerbaren Strahlern erzeugt wird, da so das Schäumen gezielt in Gang gesetzt werden kann und bspw. Bereiche der Kokille, die eine größere Metallschaumdicke herstellen sollen, mit entsprechend höherer Wärmeenergie versorgt werden. Es kann aber auch eine einzelne Strahlungsquelle, wie ein Laser, mit einer entsprechenden Strahlaufteilung eingesetzt werden. Die Strahlungsemission der Strahler wird bevorzugt durch geeignet angeordnete Sensoren überwacht und entsprechend den von diesen abgegebenen Meßsignalen gesteuert. Es kann so ein vorherbestimmtes Erwärmungsprofil eingestellt und durchgeführt werden, um Porenverteilung und das Aufschäumen gezielt zu steuern. Dies ist bei der Herstellung von Produkten mit ungleichmäßiger Dicke oder Dichte besonders wichtig, da eine gezielte Aufschäumfront erreicht werden muß, um ein Produkt gewünschter Porenverteilung, ohne unerwünschte Gaseinschlüsse, zu erhalten.

Falls das Verfahren kontinuierlich durchgeführt werden soll, ist es vorteilhaft, wenn die Kokille beidseitig offen ist und das schaumfähige Material in der offenen Kokille durch Strahlung gesteuert erwärmt und expandiert wird, während das schaumfähige Material kontinuierlich - bevorzugt mit einer Trennfolie - in die offene Form eingebracht wird.

Weitere Ziele, Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der Betrachtung der nachfolgenden Beschreibung und den Ansprüchen gemeinsam mit den begleitenden Zeichnungen. Zum vollständigeren und kompletteren Verständnis der Natur und der Ziele der Erfindung wird auf die Zeichnungen bezug genommen, in denen zeigt:

Fig.1 eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte;

Fig. 2 eine perspektivische Teilansicht einer erfindungsgemäß einsetzbaren Anordnung zur Durchführung des Verfahrens;

Fig. 3 eine schematische Ansicht eines kontinuierlichen Verfahrens.

Fig. 4 eine Darstellung eines Aufschäumens in offener Form.

Fig. 5 eine Darstellung einer Form zur Herstellung von Winkелеlementen

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung anhand der Herstellung von Metallschaumplatten beschrieben - diese ist aber keineswegs auf die dort genannten speziellen Materialien oder Formen eingeschränkt - nach diesem Verfahren können ebenso andere schmelzfähige Metalle, wie Nickel, Zinn, Aluminium, Magnesium, Silicium, Titan, Metallegierungen, wie Bronze; Glas oder auch Gläser, schmelzbare Kunststoffe bei hohen Temperaturen geschäumt werden.

Ausführungsbeispiele:

Beispiel 1

#### Aufschäumen von Zink

Schäumfähiges pulvermetallurgisch hergestelltes Zinkhalbzeug 14 einer Zn Legierung mit 14 Gew.% Al, 0,8 Gew.%  $ZrH_2$ , 84,2 Gew.% Zn hergestellt durch Kaltkompaktieren von Pulvermaterial, wird in eine aus diathermaner Siliciumkeramik mit einem linearen Ausdehnungskoeffizienten von  $0,5\text{ K}^{-1}$  bestehende abdichtbare Kastenform 10 mit Überdruckventil - wie sie schematisch in Fig. 2 dargestellt ist - eingebracht und der Deckel der Kastenform gasdicht geschlossen. Die Keramik-Kastenform wird vor dem Einbringen des Zinkhalbzeugs mit Trennmittel behandelt.

Anschließend wird die Form evakuiert, mit Argon begast und ein Überdruck von 2 bar in der Form eingestellt. Optisch ausgerichtete Strahlung mit einem Emissionswellenmaximum im Bereich von 3000 - 5000 nm - wird - entsprechend einer vorher durchgeführten Pyrometermessung des Strahlungsprofils - auf die diathermanen Formoberflächen entsprechend dem vorbestimmten Wärmeprofil unter Aufschäu-

men des schaumfähigen Materials gerichtet. Nach einer vorherbestimmten Zeit wird die Wärmestrahlung abgeschaltet und die Form durch Luftzirkulation mittels Ventilator schnell abgekühlt. Die fertig geschäumte Zinkschaumplatte wird entformt. Die so hergestellte Platte wies eine sehr hohe Formtreue und gleichmäßige Schaumqualität auf.

#### Beispiel 2

##### Aufschäumen von Aluminium

Kalt- oder warm bzw. heisskompaktierte schaumfähige pulvermetallurgisch hergestellte Materialteile 14 aus  $\text{AlMg}_{0,6}\text{Si}_{0,4}$  mit 0,4%  $\text{TiH}_2$  werden in eine schließbare diathermane Kokille 10 aus  $\text{Y}_2\text{O}_3$ -Keramik quadratischen Grundrisses einer Wandstärke von 1 cm und einer Fläche von 1 m x 1 m eingelegt und diese geschlossen. Die untere Form- oder Kokillenfläche ist gleichmäßig auf ihrer Unterseite durch stiftartige Träger 18 flächig abgestützt, um eine Verformung derselben beim Einbringen des schweren Metalls zu vermeiden. Es wird nun thermische Strahlung aus Brennern 16 mit einem Emissionsmaximum im Bereich von über 3000 nm über ein Meßfeld gesteuert - gleichmäßig auf die untere und obere Form- oder Kokillenoberfläche gerichtet, wodurch das schaumfähige Material erhitzt, aufschäumt und die Kokille füllt. Die Temperatur des Materials beim Schäumen beträgt ca 600°C. Hier wird das Form- oder Kokillenmaterial durch eine graphit-haltige Folie, die vor Einbringen des Halbzeugs auf die Form- oder Kokillenoberflächen aufgebracht wird, geschützt. Das Aufschäumen erfolgt hier ohne Schutzgas. Danach wird die Kokille geöffnet und die aufgeschäumte Aluminiumschaumplatte entnommen. Die Platte besaß hohe Maßhaltigkeit und gleichmäßige Porenverteilung.

#### Beispiel 3

##### Aufschäumen von Aluminium

Das Verfahren wurde wie im Beispiel 2 durchgeführt, wobei die Form 10 während des Aufschäumens unter einem  $\text{N}_2$ -Überdruck von 2,5 bar während des Aufschäumens gehalten wurde. Das so erhaltene Formteil besaß kleinere Poren und dünnere Porenwände. Es wurde gefunden, daß über den Forminnendruck sowie die Art des beim Aufschäumen anwesenden Gases die Porengröße und Wandstärke des entstehenden Metallschaums gesteuert werden kann.

#### Beispiel 4

##### Herstellung eines winkelförmigen Teils

Eine gewinkelte Form, die mindestens teilweise aus einem diathermanen Keramikmaterial (s. schematische Darstellung in Fig. 4) besteht, wird mit Kohlenstoff 12 beschichtet und sodann schaumfähiges Material 14 in dieselbe eingebracht. Das weitere Aufschäumen erfolgt wie in Beispiel 2 beschrieben.

#### Beispiel 5

##### Schäumen in offener Form

Eine kastenförmige Form, wie in Fig. 4 dargestellt, mit einer Bodenfläche aus diathermaner Keramik wird durch flächig angeordnete gesteuerte Strahler 16 mit einem Emissionswellenlängenmaximum bei 3050 nm gleichmäßig erhitzt. Es wurden kalt-kompaktierte Halbzeugteile 14 aus AlSi10Mg1 mit 0,4% TiH<sub>2</sub> auf Kupferfolie 12 eingelegt. Es entsteht ein Schaumteil mit exakten, Kupfer aufweisenden Grund- und Seitenflächen, während die Oberfläche eine geometrisch frei geschäumte, optisch ansprechende Form aus Aluminiumlegierung aufweist. Derartige Teile eignen sich bspw. dann, falls aus einer frei aufgeschäumten Fläche des fertigen Bauteils nicht stört oder erwünscht ist und der Aufwand des Formschließens vermieden werden kann.

#### Beispiel 6

##### Kontinuierliches Verfahren

Eine zweiseitig offene Kokille aus Keramik mit einem Ausdehnungskoeffizienten von  $0,5 \text{ K}^{-1}$  wird kontinuierlich einseitig mit trennmittelfolienbelegtem schäumbarem Material 14 einer Aluminiumlegierung mit TiH<sub>2</sub> als Treibmittel beschickt. An einer vorbestimmten Fläche der Kokille 10 wird gesteuert ungleichmäßig Wärmestrahlung eingebracht und so der Schäumvorgang gestartet und abgeschlossen. Das schäumende Metall schäumt nun den Raum zwischen der Form- oder Kokillendeckel und Form- oder Kokillenboden aus, wobei die Metallschaumoberfläche stets durch die Trennfolie bedeckt ist, um die Form vor Ankleben des Metallschaums zu schützen, kühlt während des Transports ab und verläßt die Kokille auf der anderen Seite. An der Austrittsseite kann das kontinuierlich austretende Schaumprodukt mit Trennfolie sodann in gewünschter Weise weiterbehandelt werden, bspw. durch Wasserstrahl,

Laser od. dgl. auf die gewünschten Längen geschnitten werden. Die Form oder Kokille kann auch selbst gemeinsam mit dem aufzuschäumenden Material an einem entsprechenden Strahlungsfeld vorbeigeführt werden.

#### Beispiel 7

##### Mg-Schaum

Eine Mg-Pulvermischung mit 9% Al, 1%Zn + 1% TiH<sub>2</sub> wurde kaltisostatisch kompaktiert und dann bei 400 C zu langen Profilen 20x5 mm stranggepresst. Das so hergestellte aufschaumbare Halbzeug wurde in eine schliessbare zweiteilige Kokille aus Graphit gelegt und in einem wassergekühltem Infrarotofen bis 650 C aufgeheizt. Der Innenraum des Infrarotofens sowie der Kokille wurde während des Aufheizens mit Argongas gespült. Die Temperatur der Kokille wurde gemessen und gesteuert. Die IR-Strahlung führte zu hohen Aufheizgeschwindigkeiten (bis ca. 15 K/s), wobei die Aufschäumtemperatur von 650 C nicht überschritten wurde. Nach dem Abschalten der IR-Heizung erfolgte schnelles Abkühlen. Der fertige Mg-Schaum besitzt exzellente Massgenauigkeit und gleichmassige und feinporige Struktur.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die exakte Konstruktion oder Zusammensetzung der aufgeführten oder beschriebenen Ausführungsbeispiele begrenzt, sondern es sind unterschiedliche Abänderungen ohne Abweichen von Kern- und Schutzzumfang der Erfindung für den Fachmann offensichtlich.

### **Ansprüche**

**1. Verfahren zur Herstellung von massgenauem Metallschaum aus schaumfähigem, pulvermetallurgisch hergestelltem Metallhalbzeug mit einem Schmelzpunkt  $>200^{\circ}\text{C}$  mit:**

- Einbringen von bei  $T > 200^{\circ}\text{C}$  schaumfähigem Material in eine bis zum Schmelzpunkt des schaumfähigen Materials hitzebeständige Form mit einem Ausdehnungskoeffizienten von weniger als  $3\text{ K}^{-1}$ , bevorzugt  $< 1\text{ K}^{-1}$ ;
- gesteuertem Erhitzen des schaumfähigen Materials in der Form unter Aufschäumen durch in der Energieabgabe gesteuerte Strahler, die auf oder durch die Form angewendet werden; und
- Entformen des so aufgeschäumten Schaums.

**2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Form mindestens teilweise diatherman ist.**

**3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Form nach dem Erhitzen gesteuert abgekühlt wird.**

**4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Trennmittel zwischen dem Metallhalbzeug und der Formoberfläche eingesetzt wird.**

**5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Schäumen unter gesteuerter Gasatmosphäre eines Drucks bis zu 5 bar durchgeführt wird.**

**6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kokille mindestens einseitig offen ist.**

**7. Verfahren nach Anspruch 1 - 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kokille beidseitig offen ist, wobei das schaumfähige Material einseitig in die Kokille eingebracht wird, in der Kokille in einem ausgewählten Bereich gesteuert erwärmt und so aufgeschäumt wird, dass dieses an der anderen Seite entsprechend der Kokillenform strangartig geschäumt wieder austritt.**

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsemission der Strahler durch Sensoren überwacht und entsprechend dem Überwachungssignal gesteuert wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kokille dünnwandig ist, wobei mindestens eine Wand derselben bevorzugt eine Dicke von 2 - 20 mm, besonders bevorzugt eine Dicke von 1 - 10 mm und ganz besonders bevorzugt von 2- 4 mm aufweist.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Wand der Kokille durch Stützen extern abgestützt ist.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stützen steuerbar sind und die Kokille gegenüber einer Grundplatte niedrigerer Temperatur steuerbar abstützen.

12. Vorrichtung zur Herstellung von massgenauen thermisch geschäumten Metallschaumteilen, gekennzeichnet durch :

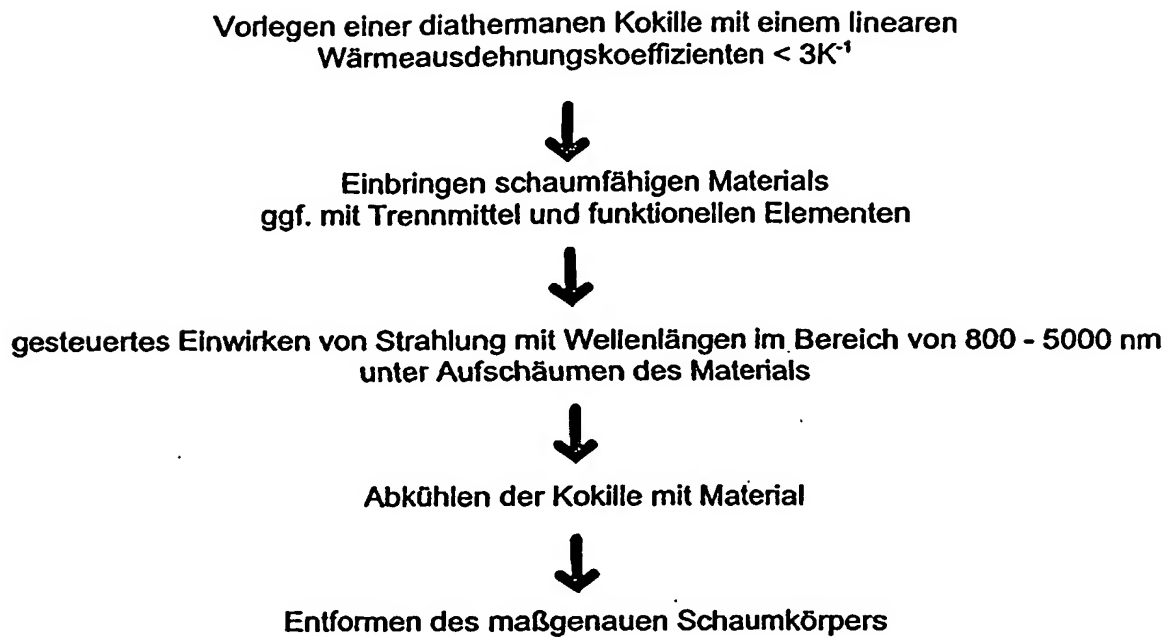
- eine dünnwandige, bei der Schmelztemperatur des Metallschaums stabile Kokille mit einem Ausdehnungskoeffizienten von  $< 3 \text{ K}^{-1}$
- eine steuerbare Bestrahlungseinrichtung, und
- eine Steuerung, die aufgrund der Messung einer Strahlungsmesseinrichtung die Bestrahlungseinrichtung steuert.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die dünnwandige, bei der Schmelztemperatur des Metallschaums stabile Kokille mit einem Ausdehnungskoeffizienten von  $< 3 \text{ K}^{-1}$  diatherman ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 - 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Kokille gasdicht verschliessbar ist sowie mindestens einen Gasein- und auslass aufweist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 - 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Kokille beidseitig offen ist.



**Fig. 1**

2 / 3

FIG. 2

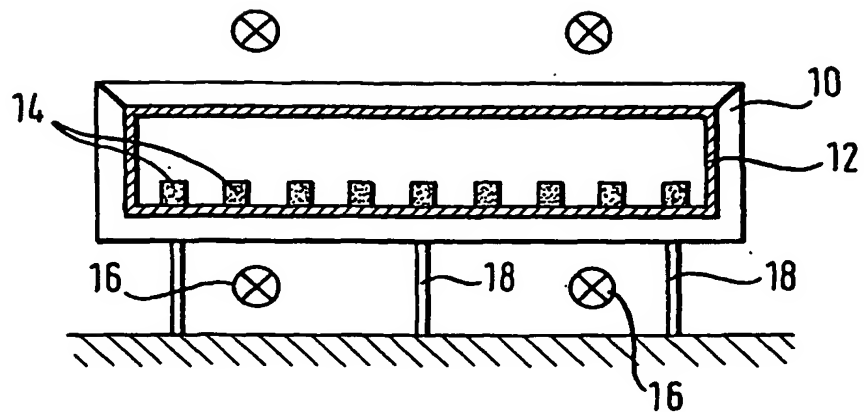


FIG. 3

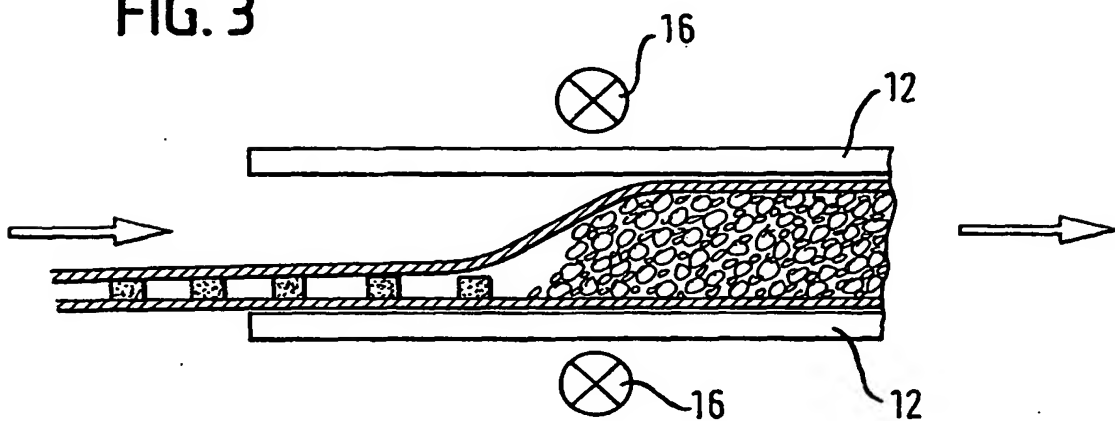


FIG. 4

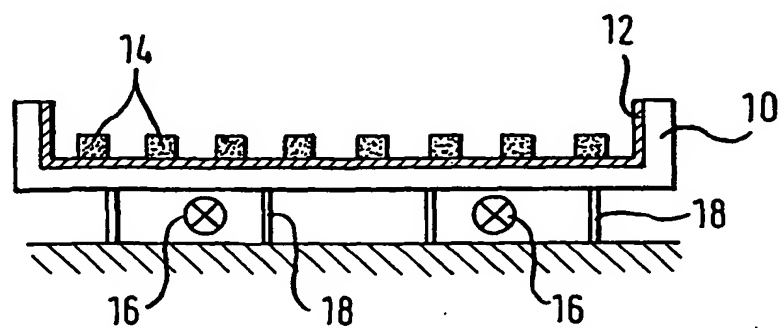


FIG. 5

